جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارۀ سی و پنجم، پاییز ۱۳۹۹

صص ۵۶- ۳۹

DOI: https://dx.doi.org/10.22067/geo.v9i3.87362

مقاله پژوهشی

تخمین خسارت ناشی از زلزله با استفاده از مدل RADIUS در محیط GIS (مطالعه موردی: استان مازندران، شهر ساری)

مهدی مدیری- دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

محمد اسکندری- استادیار، مجتمع دانشگاهی پدافند غیر عامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

سمیرا حسن‌زاده[1]- دانشجوی دکتری مدیریت بحران دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۲۸ تاریخ بازنگری : ۱۳۹۹/۶/۲۴ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۷/۲۲

چکیده

توزیع جغرافیایی زمین‌لرزه‌ها نشان می‌دهد تقریباً تمام سرزمین ایران در معرض خطر زلزله قرار داشته و پتانسیل ناامنی دارد و بیشترین فراوانی آن متعلق به پیرامون کشور ایران، یعنی محور شرق، شمال، غرب و جنوب است به‌طوری‌که در ۴۰ سال گذشته تعدادی از زلزله‌های ویرانگر که به وقوع پیوسته و از اهمیت زیادی برخوردار بوده است، در این محور رخ‌داده‌اند. با توجه به وجود گسل‌های زلزله زا در استان مازندران که می‌تواند شهر ساری را تحت تأثیر قرار دهد بررسی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای آن با استفاده از مدل مناسب امری ضروری و غیرقابل‌اجتناب است؛ ازاین‌رو هدف از این پژوهش تخمین خسارت ناشی از زلزله با استفاده از مدل رادیوس در محیط GIS است. شهر ساری ۳,۵ کیلومتر با گسل خزر و ۳۷,۵ کیلومتر با گسل البرز فاصله دارد؛ بنابراین با توجه به اهمیت این موضوع، شهر ساری به‌عنوان منطقه موردمطالعه انتخاب شده است. پژوهش حاضر از نوع توصیفی- تحلیلی و ازلحاظ ماهیت، کاربردی است. برای جمع‌آوری داده‌ها، مطابق استانداردهای مدل رادیوس، از سازمان‌های مربوطه استفاده شده است. تجزیه‌وتحلیل اطلاعات جمع‌آوری‌شده با توجه به روش‌های مبتنی بر پایگاه اطلاعاتی و با بهره‌گیری از مدل رادیوس و نرم‌افزارهای مبتنی بر رویکرد سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت پذیرفت و دو سناریو با توجه به دو گسل خزر و شمال البرز برای تخمین خسارت‌های ناشی از زلزله احتمالی در منطقه موردمطالعه در نظر گرفته شد. نتایج حاصل بیان‌گر آن است بر اساس سناریوی گسل خزر ۱۸۹۱۰

---

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۹٤٦۹۲۷۲۱ Email: s.hasanzadeh260@gmail.com

ساختمان تخریب،۲۳۸۲ نفر کشته و ۲۲۸۹۷ نفر مصدوم خواهند شد. مطابق سناریوی گسل البرز نیز ۳۰۸۶ ساختمان تخریب،۱۵ نفر کشته و ۲۱۰۲ نفر مصدوم خواهند شد. بر اساس سناریوهای درنظرگرفته شده در منطقه موردمطالعه نتایج خسارات و تلفات ناشی از وقوع زلزله حاکی از آن است که گسل خزر به دلیل فاصله اندک با منطقه موردمطالعه بیشترین آسیب را به همراه دارد. کمترین میزان آسیب‌پذیری برای منطقه ناشی از گسل شمال البرز است. نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه موردی می‌تواند به تصمیم گیران در اولویت‌بندی مناطق آسیب‌پذیر برای کاهش خطر زمین‌لرزه و برنامه‌ریزی مؤثر جهت خدمات اضطراری پس از وقوع زلزله کمک کند.

کلیدواژه‌ها: تخمین خسارت، زلزله، مدل رادیوس، سیستم اطلاعات جغرافیایی، ساری.

۱. مقدمه

سوانح طبیعی همچون زلزله، سیل، طوفان و... شرایط غیرقابل‌کنترل هستند که به‌طور مستقیم بر زندگی انسان تأثیر می‌گذارند (گوکچه و ارکان[۱]، ۲۰۱۹). سوانح طبیعی در طول دوران حیات کره زمین همواره وجود داشته و همیشه یک خطر جدی برای توسعه به شمار رفته و خواهند رفت (مهدوی و هزاریان، ۱۳۹۶). بانک داده‌های بحران‌ها و فوریت‌ها[۲] تعداد کل سوانح طبیعی و افراد تحت تأثیر را نشان می‌دهد که به‌طور فزاینده از سال ۱۹۰۰ افزایش یافتند (کااو و همکاران[۳]، ۲۰۱۸). سوانح طبیعی در مقیاس بزرگ به‌طور مکرر اتفاق افتاده است و منجر به عواقب فوق‌العاده‌ای همچون تلفات زیاد، خسارت دارایی و اختلال در محیط‌زیست می‌شود (پاپادوپولوس و همکاران[۴]، ۲۰۱۷). در این میان زلزله یکی از مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی شناخته‌شده است که با خرابی ساختمان‌ها و زیرساخت‌های شهری، خسارت‌های بسیاری را به اموال و دارایی‌ها وارد می‌کند (ایکسیو و همکاران[۵]، ۲۰۱۰). با توجه به‌واقع شدن ایران بر روی یکی از دو کمربند زلزله‌خیز جهان و وجود گسل‌های فراوان، وقوع زلزله در فلات ایران، امری طبیعی است (نگارش، ۱۳۸۲). ایران ازجمله کشورهای زلزله‌خیز محسوب می‌شود و تاکنون تلفات زیادی ازنظر جانی و مالی متوجه آن شده است (یاریان و کرمی، ۱۳۹۸). اسکاپ در گزارش سوانح مرتبط با مخاطرات تکتونیکی، ایران را جزء ده کشور اول دنیا و ازلحاظ تلفات جانی ناشی از این مخاطرات جایگاه ایران را بین رتبه اول تا سوم جهان ذکر می‌کند (بهتاش و همکاران، ۱۳۹۲). طبق آمار ۱۷/۶ درصد از زلزله‌های مخرب رخ‌داده در جهان به کشور ما تعلق دارد (غلامی و همکاران، ۱۳۹٤). بر اساس آمارهای رسمی، در طی ۲۵ سال گذشته، ٦ درصد از تلفات جانی کشور ناشی از زلزله بوده است (خاکپور و همکاران، ۱۳۹۲). بر اساس پژوهش‌های وزارت مسکن و شهرسازی،

1 Gökçe & Ercan
2 Emergency Disasters Data Base
3 Cao et al
4 Papadopoulos et al
5 Xu et al

۵۰ درصد جمعیت کشور در پهنه‌هایی زندگی می‌کنند که دارای بیش‌ترین خطر زلزله‌خیزی است (فرجی و قرخلـو، ۱۳۸۹). زلزله‌های مخرب چند دهه اخیر نشان می‌دهد که هیچ نقطه از ایران از خطر زلزله در امـان نیسـت (نیـری و همکاران، ۱۳۹۵). تجربه زلزله‌های اخیر نشان داده است که بخش عمده‌ای از آسیب‌های ناشی از زلزله می‌توانـد بـه علت عدم رعایت اصول و ضوابط شهرسازی باشد که خود متأثر از عدم تخمین صحیح آسیب‌پذیری شهرها در اثر وقوع زمین‌لرزه احتمالی است (عزیزی و اکبری، ۱۳۸۷). یکی از مسائلی که امروزه موردتوجه متخصصان رشـته‌های گوناگون قرار دارد، مسئله آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله است که این مسئله در کشورهایی مانند ایـران کـه در زمینه آسیب‌های ناشی از زلزله و تلفات آن رتبه بالایی داشته است، به‌صورت جدی‌تر موردتوجه قرار دارد (رمضانی و همکاران، ۱۳۹۵)؛ بنابراین برآورد آسیب‌پذیری برای کاهش تلفات آینده ضروری است؛ پیش‌نیاز برآورد خطر زلزله، ارزیابی آسیب‌پذیری است (جنا و همکاران[1]، ۲۰۲۰). افزایش آسیب‌پذیری تهدید مهمی بـرای ایمنـی سـاختمان‌ها به‌خصوص آن‌هایی که بدون رعایت مناسب مقررات لرزه‌ای در آیین‌نامه‌های سـاختمان ساخته‌شـده‌اند، محسـوب می‌شود (مزومدر و سلمان[2]، ۲۰۱۹) ؛ بنابراین اگر بتوان با روش یا روش‌هایی میـزان آسـیب‌پذیری سـاختمان‌های شهری ناشی از سوانح طبیعی مانند زلزله را تعیین کرد، می‌توان با اتخاذ راهکارهایی آمادگی را تا حد بسیار زیـادی افزایش داد (کاظمی نیا و پاریزی، ۱۳۹٦). هدف اصلی روش‌های کاهش ریسک و روش‌های عملیاتی محافظت از جان و اموال در برابر تأثیر سوانح طبیعی است (بوکری و همکاران[3]، ۲۰۱۸). ارزیابی خسارت لرزه‌ای مبتنـی بـر سـناریو می‌تواند نقطه شروع خوبی در برنامه‌ریزی کاهش خطر زمین‌لرزه باشد (آلام و همکاران[4]، ۲۰۱۲). در خصوص انواع روش‌های تخمین خسارت زلزله تحقیقات زیادی انجام‌شده است که هریک از آن‌ها از مدل‌ها و روش‌های متعدد با توجه به اهداف و فرضیات خود استفاده نموده‌اند و برخی از آن‌ها عبارت‌اند از (روش هازوس، روش‌های مبتنی بر جی آی اس و روش رادیوس) و می‌توان آن‌ها را در دودسته تحقیقات داخلی و خارجی دسته‌بندی نمـود. امینـی و همکاران (۱۳۹۰). در پژوهشی به ارزیابی مدل رادیوس پرداخته و مزایا و معایب این مدل را موردبررسی قرار داده‌اند. کاظمیان و آریش (۱۳۹٤) به ارزیابی مدل رادیوس جهت تخمین خسارت پرداختند و روش‌های مناسب جهت تخمین خسارت ناشی از زلزله را ارائه نمودند. شکیبا و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی به ارزیابی تلفات انسانی و خسارت‌های ساختمانی در سناریوهای مختلف زلزله در شرایط عدم قطعیت با استفاده از روش تحلیل چند معیاره فازی پرداختند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که خسارت‌های ساختمانی از ٦ تا ۸ مرکالی افزایش زیادی یافته و از ۱/۵ درصد به ٤٦ درصد رسیده است. تلفات انسانی نیز بیشتر در ساختمان‌های مسکونی رخ می‌دهد که توجه مضاعف بـه بهسـازی ساختمان‌های مسکونی را می‌طلبد. ملکی و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی طیف آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهرها بر اساس

1 Jena et al
2 Mazumder & Salman
3 Boukri et al
4 Alam et al

سناریوهای شدت مختلف با بهره‌گیری از مدل‌های کمی، TOPSISو GIS ، نرم‌افزارهای Excel و SPSS به بررسی موضوع پرداخته‌اند. همچنین به‌منظور کاهش ضریب خطا و تعیین دقیق‌تر پیش‌بینی‌ها، ۵۰ متغیر از شاخص‌های اجتماعی–کالبدی در تجزیه‌وتحلیل‌ها دخیل و ارزیابی شد. نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد خسارت ساختمانی در اثر زلزله تا شدت ۵ مرکالی تقریباً آسیبی ندارند و یا خیلی ناچیز است؛ اما اگر میزان شدت زلزله بیشتر از ۷ ریشتر باشد بیش از ۵۰ درصد ساختمان‌های منطقه ۲ در معرض آسیب زلزله قرار دارند؛ و در مدل TOPSIS میانگین آسیب‌پذیری اجتماعی در مناطق برابر ۰/۴۱۲ درصد بوده که منطقه ۲ و ۱ به ترتیب با میزان۶٤۲ /۰ و ۰/۱۸۳ درصد بیشترین و کمترین آسیب‌پذیری اجتماعی شهر را در برابر زلزله در مناطق شهر یزد دارا می‌باشند. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹٤) در پژوهشی به ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر بَردَسْکن در برابر زلزله با استفاده از مدل سلسله مراتبی وارون پرداختند. هدف از این پژوهش شناسایی میزان آسیب‌پذیری اجزاء و عناصر شهری با استفاده از مدل‌ها و روش‌های موجود در کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله است. امیدیان و صفاری (۱۳۹۷) به ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی منظم و نامنظم با استفاده از منحنی‌های خرابی پرداختند. در این تحقیق، رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی منظم و نامنظم در پلان با تعداد طبقات ۳، ٦ و ۹ طبقه تحت ده رکورد تاریخچه شتاب حرکت زمین با استفاده از تحلیل دینامیکی فزاینده مورد ارزیابی قرارگرفته است. در این راستا شاخص‌های تغییر مکان جانبی نسبی حداکثر، تغییر مکان جانبی نسبی پسماند، ضریب رفتار و برش پایه مورد مقایسه قرارگرفته‌اند. همچنین منحنی‌های خرابی، با استفاده از حالات حدی مختلف خرابی سازه بتنی طبق دستورالعمل HAZUS در دو حالت سازه منظم و نامنظم بررسی‌شده است. نتایج بیانگر آن است که با افزایش نامنظمی پیچشی، تغییر مکان جانبی نسبی حداکثر سازه و تغییر مکان جانبی نسبی پسماند سازه افزایش می‌یابد. ضریب رفتار سازه نیز با نامنظم شدن سازه کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش تعداد طبقات و میزان نامنظمی، درصد خرابی در سازه افزایش می‌یابد. ازاین‌رو طرح سازه‌های نامنظم در پلان تا حد امکان توصیه نمی‌گردد.(مایو و همکاران[1] (۲۰۱۵) در پژوهشی به ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مراکز تاریخی شهر: مطالعه موردی مرکز شهر قدیمی فارو، پرتغال پرداختند. برای دستیابی به این هدف از یک روش مبتنی بر شاخص آسیب‌پذیری استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش به‌عنوان یک ابزار ارزشمند برای شوراهای شهر و مقامات محلی محسوب می‌شود؛ زیرا بر اساس یک دید کلی می‌توانند استراتژی‌های جامع‌تر و دقیق‌تری به‌منظور کاهش ریسک تدوین نمایند. نینگتوجام و ناندا[2] (۲۰۱۸) در پژوهشی به ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی با استفاده از GIS پرداختند. در این مطالعه ویژگی‌های ساختمان مانند عمر بنا، کیفیت ساختمان، نوع خاک، تعداد طبقه در هر ساختمان و ... در نظر گرفته شد. بر اساس برگه نمره غربالگری بصری سریع، مهم‌ترین

1 Maio et al
2 Ningthoujam & Nanda

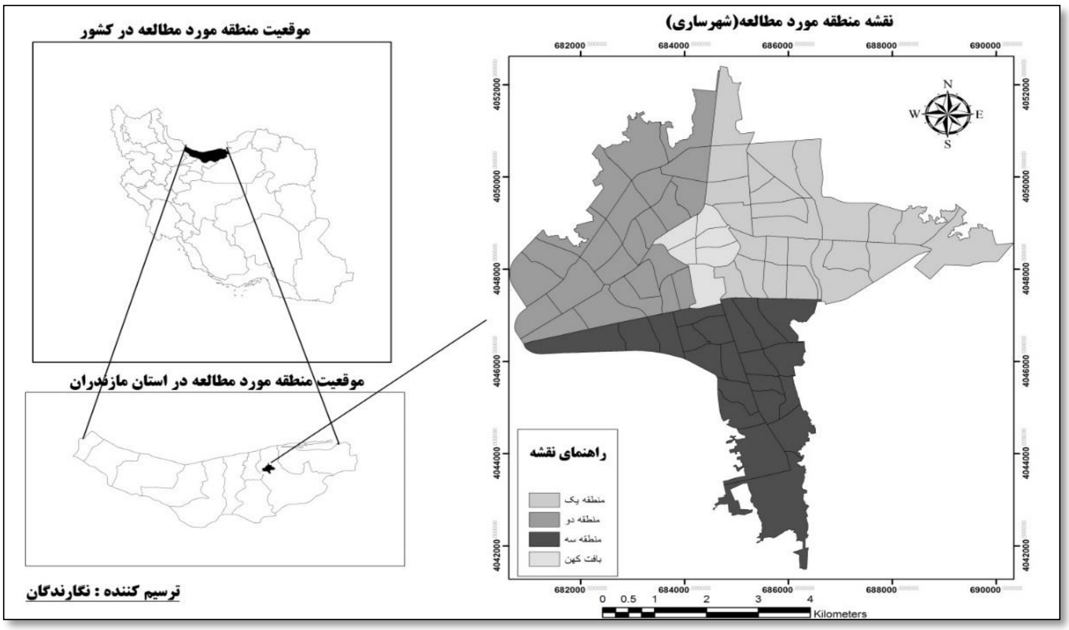
عامل از بین رفتن استحکام ساختار عمر بنا بوده است. طبقه‌بندی خرابی ساختمان‌ها از درجه ۱ الی ۵ بیان می‌گردد. از این روش با بررسی موردی در مانیپور هند استفاده شد. همچنین نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری در نقشه‌های رنگی در محیط GIS ارائه‌شده است. مزدومر و سلمان[1] (۲۰۱۹) در پژوهش خود به ارزیابی خسارت لرزه‌ای با استفاده از رادیوس در بنگلادش پرداختند. عدم توجه به مکان‌یابی صحیح شهرها و نیز بی‌توجهی به جهت رشد و توسعه شهرهای موجود و فقدان برنامه‌ریزی مناسب برای جلوگیری از رشد شهرها باعث شده اکثر شهرهای استان مازندران بر روی مسیرهای اصلی گسل‌ها و یا در حریم آن‌ها ساخته شوند (سازمان مسکن و شهرسازی استان مازندران،۱۳۸۲). با توجه به وجود گسل‌های زلزله زا در استان مازندران که می‌تواند شهر ساری را تحت تأثیر قرار دهد بررسی آسیب‌پذیری آن با استفاده از مدل مناسب امری ضروری و غیرقابل‌اجتناب است؛ بنابراین با توجه به روش‌های مختلف تخمین و ارزیابی خسارت، در این پژوهش یک تکنیک یکپارچه GIS و RADIUS برای برآورد آسیب لرزه‌ای در شهرستان ساری تحت سناریوی زلزله مورداستفاده قرارگرفته است. در این پژوهش هم آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری و هم تعداد کشته‌شدگان و مصدومان و نیز وضعیت شریان‌های حیاتی در سناریوهای مختلف شدت زلزله بررسی و میزان خسارت برآورد می‌شود. رادیوس بهترین گزینه جهت ارزیابی ریسک منطقه برای تصمیم‌گیری‌های مرتبط با کاهش خسارت و امنیت رفاه شهری است چراکه به تخصص‌های پیچیده مهندسی نیازی ندارد و در کمترین زمان به نتایج مناسبی خواهد رسید همچنین ازلحاظ هزینه نسبت به سایر روش‌ها مقرون‌به‌صرفه تر است و نیازی به اطلاعات پیچیده و منابع زیاد ندارد و از دقت مناسبی نیز برخوردار است و به‌عنوان یک ابزار مفید برای تخمین آسیب لرزه‌ای بالقوه برای تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی خطر سوانح طبیعی به‌ویژه برای کشورهای درحال‌توسعه و مناطقی که اطلاعات ریز و دقیقی از منطقه در دست نیست و نقشه‌های جی‌آی‌اس برای آن مناطق تهیه نشده است و درعین‌حال جزو مناطق پرخطر محسوب می‌شوند می‌تواند اطلاعات مناسبی را در اختیار مدیران قرار دهد. ادغام GIS و RADIUS به‌طور قابل‌توجهی دقت نتایج را افزایش می‌دهد.

۲. موقعیت جغرافیایی شهر و اطراف آن

شهر ساری مرکز استان مازندران و شهرستان ساری است. ازلحاظ موقعیت جغرافیایی این شهر در طول شرقی ۵۳ درجه و 3 دقیقه و عرض شمالی ۳٦ درجه و ۳٤ دقیقه واقع‌شده و ارتفاع متوسط آن از سطح دریای آزاد حدود ٤٠ متر است. ازلحاظ موقعیت طبیعی، این شهر در جنوب دریای مازندران و در منطقه جلگه‌ای و نسبتاً مسطح شهرستان ساری قرارگرفته و تنها قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی آن به کوه‌ها و تپه‌ماهورهای کم ارتفاع منتهی می‌گردد. رودخانه تجن که از پرآب‌ترین رودخانه‌های استان است از ارتفاعات جنوبی شهرستان سرچشمه گرفته و از بخش شرقی شهر عبور می‌نماید. ازلحاظ توپوگرافی عمومی شهر ساری در طبقه ارتفاعی ۱۰۰-۰ استقراریافته و شیب

1 Mazumder & Salman

عمومی شهر از جنوب به شمال و بسیار ملایم است. محدوده قانونی شهر ساری شامل: منطقه یـک (مشـتمل بـر ۷ ناحیه و ۲۳ محله)، منطقه دو (مشتمل بر ٦ ناحیه و ٢٤ محله)، منطقه سه (مشتمل بر ٥ ناحیه و ۲۱ محلـه) و بافـت تاریخی (مشتمل بر ۱ ناحیه و ٦ محله) است. شکل ۱ موقعیت منطقه موردمطالعه را همراه با مناطق آن نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

۳. روش تحقیق

این تحقیق ازنظر هدف کاربردی است. پژوهش حاضر ازلحاظ ماهیت و روش تحقیق از نوع توصیفی _تحلیلی است. برای انجام تحقیق مرکز استان مازندران شهر ساری انتخاب گردید. مراحل انجام پژوهش به شکل ذیل است:

- مطالعه پژوهش‌های انجام‌شده در داخل و خارج از کشور
- تهیه و گردآوری اطلاعات و داده‌ها مطابق استانداردها و پیش‌نیازهای مدل رادیوس از سازمان‌های مربوطه (شهرداری ساری، شرکت برق منطقه‌ای ساری، شرکت آب و فاضلاب ساری، اداره خاک ساری، شرکت مازند طرح و سازمان برنامه‌وبودجه استان مازندران) در سال ۱۳۹۸.
- شبکه‌بندی منطقه و آماده‌سازی داده‌ها برای ورود به مدل مورداستفاده که بر این اساس شریان‌های حیـاتی منطقه، سازه و خاک منطقه مطابق مدل رادیوس طبقه‌بندی‌شده و وارد برنامه رادیوس شده تا به نتایج نهایی دست‌یافت.

- تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با توجه به روش‌های مبتنی بر پایگاه اطلاعاتی و بـا بهره‌گیـری از مـدل رادیـوس و نرم‌افزارهای مبتنی بر رویکرد سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شد؛ که در ادامه چگونگی انجام تحقیق با این مدل به‌طور کامل تشریح می‌شود.

٤. رویکرد یکپارچه GIS_RADIUS

دبیرخانه کنفرانس جهانی کاهش اثرات سوانح طبیعی در سال ١٩٩٤ دریوکوهامای ژاپن، رویکرد RADUS را در سال ١٩٩٦ پی‌ریزی کرد. تمرکـز ایـن رویکـرد، بـر کـاهش خطرپـذیری لـرزه‌ای شـهرها، بـه‌ویژه در کشـورهای درحال‌توسعه بود. هدف اولیه این رویکرد کمک به عموم مردم به‌منظور درک بهتر، از خطرپذیری لرزه‌ای و بالا بردن آگاهی عمومی، به‌عنوان اولین قدم، در جهت کاهش خطرپذیری لرزه‌ای بود (ویلاسیس و کاردونا[1]، ١٩٩٩).

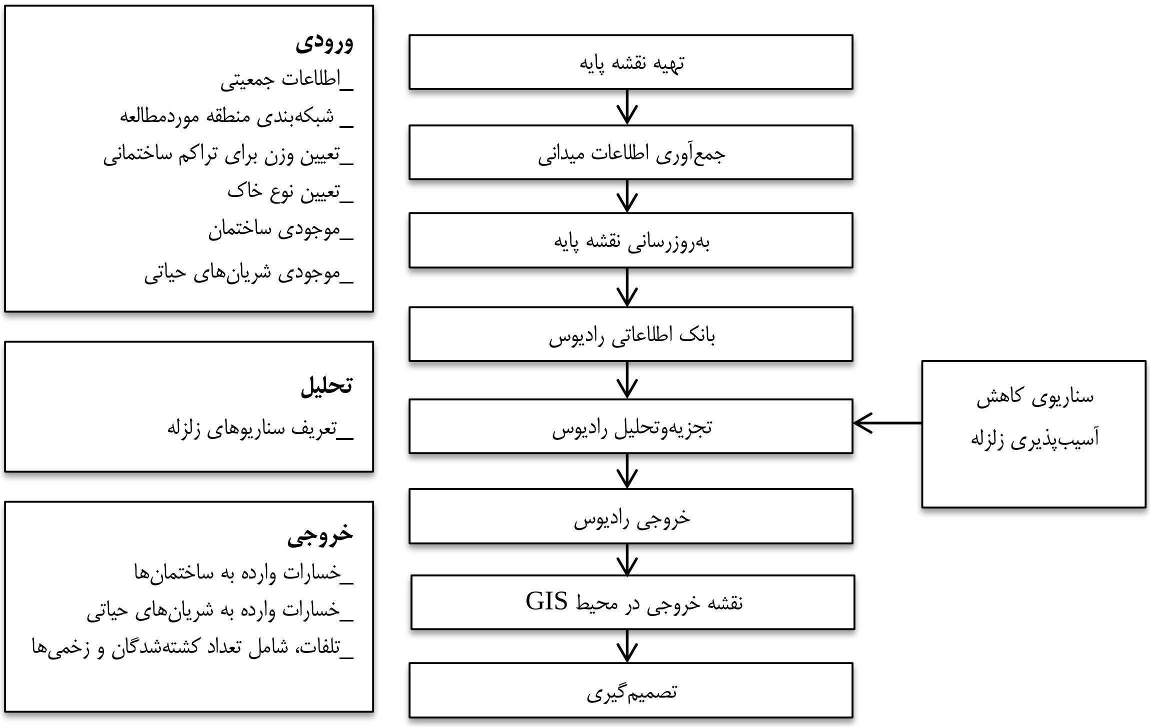
اهداف اصلی این رویکرد عبارت بودند از:

- تخمین خسارت زلزله و تدوین برنامه پاسخ به خطرپذیری در ۹ شهر نمونه (در امریکای لاتین، آسـیا، اروپا، آفریقا و خاورمیانه)
- ایجاد ابزاری ویژه برای مدیریت ریسک زلزله که بتوان در تمامی شهرهای زلزله‌خیز از آن استفاده کرد.
- فراهم کردن امکان، مطالعات مقایسه‌ای، برای ارزیابی خطرپذیری زلزله در مناطق شـهری در سراسـر جهان.
- افزایش تبادل اطلاعات به‌منظور کاهش پیامدهای ناگوار زلزله در مناطق شهری (فلاحی، ١٣٨٨).

اساس این برنامه بر استفاده از اطلاعات موجود برای تهیه خروجی‌ها است و نیازی به تهیه و یا ایجاد اطلاعات و نقشه‌های تخصصی جدید نیست. همچنین نیازی به تخصص‌های پیچیده برای استفاده از این نرم‌افزار نبوده و باعث می‌شود تا تمامی متصدیان بتوانند در فرایند تهیه و تدوین سناریوی زلزله دخیل باشند و آن را از آن خود بدانند. بـه دلیل تفاوت اثرات زلزله در شهرهای گوناگون، نرم‌افزار RADIUS تنها برای برآورد خسارات اولیه استفاده می‌شود و نیاز به تحقیقات بیشتری برای کسب نتیجه دقیق‌تر دارد. نرم‌افزار مزبور یک برنامه کامپیوتری استاندارد است کـه در محیط اکسل کار می‌کند. پژوهش حاضر GIS را با RADIUS برای ارزیابی آسیب‌پذیری ادغام می‌کنـد. فلوچـارت پژوهش حاضر در شکل ٢ الف نشان داده‌شده است. شکل ٢ ب مراحل ورودی، تحلیل و خروجی و پارامترها را در RADIUS نشان می‌دهد. بعد از جمع‌آوری اطلاعات اولیه مانند نوع خاک، نوع ساختمان، شریان‌های حیاتی و ... و ورود آن‌ها به پایگاه داده GIS، منطقه موردمطالعه با استفاده از GIS به شبکه‌های مربعی تقسیم می‌شود و پایگاه داده هر شبکه به RADIUS منتقل می‌شود. تحلیل RADIUS نیاز به یک سناریو دارد (مانند بزرگی، عمق کانون، فاصله از

1 Villacis & Cardona

منطقه موردمطالعه)، پس از انجام تحلیل، نتایج خروجی برای هر شبکه به دست می‌آید. درنهایت نتایج RADIUS را می‌توان در GIS برای تصمیم‌گیری کاهش ریسک به‌صورت نقشه ارائه کرد.



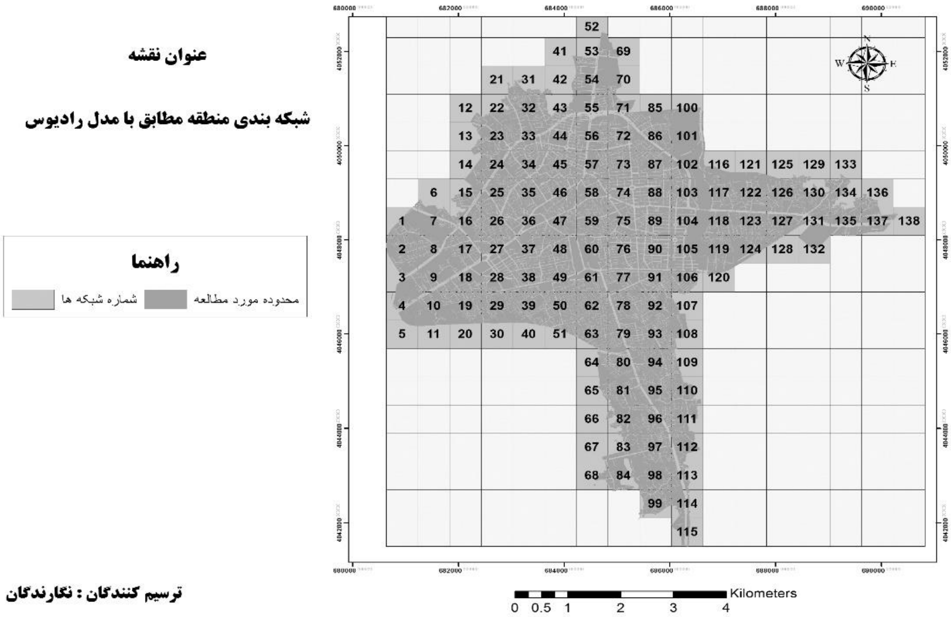
شکل ۲ الف- نمودار گردش کار یکپارچه GIS-RADIUS **شکل ۲ ب-مراحل کار رادیوس**

۵. یافته‌های تحقیق

فرایند تخمین خسارت ناشی از زلزله در نرم‌افزار رادیوس در شهر ساری شامل مراحل زیر است:

شبکه‌بندی منطقه

با توجه به اینکه در مناطق شهری، هر بخش از منطقه دارای خصوصیات مختلفی از قبیل وضعیت زمین، نوع و کاربری متفاوت ساختمان‌ها و همچنین اطلاعات آماری متفاوت است، برای برآورد و تخمین خسارت، منطقه موردمطالعه به ۱۳۸ شبکه مساوی (۶۰۰ متر در ۶۰۰ متر) تقسیم و اطلاعات موردنیاز برنامه، به تفکیک هر شبکه وارد نرم‌افزار شد؛ که شبکه‌بندی منطقه در نرم‌افزار Arc GIS و با توجه به مرزهای منطقه و توزیع کاربری‌های موجود در آن صورت گرفته است. شکل ۳ شبکه‌بندی منطقه را با استفاده از نرم‌افزار GIS نشان می‌دهد.



شکل ۳- شبکه‌بندی شهر ساری با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS مطابق با مدل رادیوس

جنس خاک

وضعیت خاک منطقه در میزان خسارات ناشی از زلزله مؤثر است، زیرا وضعیت زمین بـه‌طور مسـتقیم، لـرزش زمین و اثرات لرزه‌ای را تشدید می‌کند. نرم‌افزار رادیوس طبقه‌بندی ساده‌ای برای جنس خاک پیشنهاد می‌کند که در این طبقه‌بندی جنس خاک به چهار دسته سنگ سخت، سنگ نرم، خاک متوسط و خاک نرم که فاکتورهای تشدید شدت لرزه نیز مطابق با آن‌ها توسط نرم‌افزار اعمال می‌شود، تقسیم‌شده است. گروه‌بندی خاک منطقه مطابق جدول ۱ است.

جدول ۱- گروه‌بندی خاک منطقه بر اساس برنامه رادیوس

نوع خاک	توصیف و نوع آن
سنگ سخت	در منطقه موجود نیست
سنگ نرم	در منطقه موجود نیست
خاک متوسط	سازند C
خاک نرم	سازند B

ازنظر خاکشناسی، بستر شهر ساری بر روی دشت‌های آبرفتی دامنه‌ای استقراریافته است که ذرات تشکیل‌دهنده آن عمدتاً به قطر کمتر از ۲ mm بوده و شیب اراضی نیز منظم و ملایم با ارتفاع ۱۰ تا ۶۰ متر از سطح دریـا اسـت. پوشش خاکی اراضی مذکور عمیق به رنگ قهوه‌ای مایل به خاکستری با بافت سنگین تا خیلی سنگین رسی است که

در لایه‌های زیرین دارای مقدار متوسط پودر آهک است خاک محدوده شهر دارای تناسب متوسط تا خـوب بـرای زراعت‌های آبی و باغات مرکبات است. جهت کسب اطلاعات بیشتر درباره وسعت و درصد کلاس‌های طبقه‌بندی اراضی شهرستان ساری به طرح جامع شهر ساری مراجعه شود.

طبقه‌بندی ساختمان‌های منطقه موردمطالعه

آگاهی از تعداد ساختمان‌های موجود، نوع کاربری، نوع و جنس ساختمان‌ها و تعداد طبقه در هر شـبکه بـرای محاسبه میزان خسارت ضروری است، طبقه‌بندی ساختمان‌ها مطابق مدل رادیوس در منطقه موردمطالعه در جدول ۲ آورده شده است. تعداد انواع مختلف ساختمان‌های موجود، نوع مصالح بکار رفته در ساخت‌وساز، نوع کـاربری و تعداد طبقات در هر شبکه از طریق نرم‌افزار Arc GIS محاسبه‌شده و وارد نرم‌افزار رادیوس شد.

جدول ۲- گروه‌بندی ساختمان‌ها مطابق با برنامه رادیوس

ساختمان	مشخصات	تعداد
مسکونی	نوع ۱: ساختمان‌های با مصالح بنایی و غیر مقاوم در برابر زلزله‌های احتمالی، ساخته‌شده از آجر، کاه‌گل و سقف‌ها و دیوارهای بدون شناژ	۳٤۹
	نوع ۲: سازه‌های ترکیبی، سازه‌های غیراستاندارد و غیر منطبق با آئین‌نامه‌های ساختمانی، ارتفاع تا سه‌طبقه	٤۵۷۲۹
	نوع ۳: ساخت ترکیبی بتن مسلح–URM: ساخت‌وساز قدیمی و تخریب‌شده که مطابق با تمهیدات قانون ساختمان‌سازی نیست، ارتفاع ٤ تا ٦ طبقه	۹۱۷
	نوع ٤: ساختمان‌های با اسکلت فلزی یا بتن مسلح، مهندسی ساز، نوساز و چندین طبقه	۱۱۳٤٦
آموزشی	نوع ۱: ساختمان مدارس تا دوطبقه	۱۵۱
	نوع ۲: ساختمان مدارس بالاتر از دوطبقه	۱۹
درمانی	نوع ۱: بیمارستان‌های کوچک و متوسط	۵٤
	نوع دو: بیمارستان‌های بزرگ	۲۰
تجاری	مراکز خرید	۱۲۵۱۱
صنعتی	ساختمان‌ها و تأسیسات صنعتی	٤۷٤

(مأخذ: نگارندگان)

وضعیت شریان‌های حیاتی منطقه

گروه‌بندی شریان‌های حیاتی شهر ساری مطابق مدل رادیوس در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- وضعیت شریان‌های حیاتی شهر ساری

شریان‌های حیاتی	میزان	واحد	توصیف
جاده نوع اول	۱۵	کیلومتر	جاده‌های محلی به مناطق اطراف
جاده نوع دوم	٧٤٦	کیلومتر	شاهراه‌ها و بزرگراه‌ها
پل	۰	تعداد	
تونل	۰	تعداد	
برق ۱	٦۰	تعداد	تعداد دکل‌های برق
برق ۲	۹	تعداد	تعداد ایستگاه‌های برق
آب ۱	۱۱۰۰	کیلومتر	طول خطوط آب و فاضلاب
آب ۲	۱	تعداد	تعداد ایستگاه‌های پمپاژ آب
آب ۳	۰	تعداد	تعداد ایستگاه‌های آب و فاضلاب صنعتی
مخزن آب ۱	۰	تعداد	تعداد آب‌انبارها و آب‌بندها
مخزن آب ۲	۲	تعداد	تعداد مخازن مرتفع
سوخت‌های بنزینی و گازوئیلی	۳۲	تعداد	تعداد ایستگاه‌های پمپ‌بنزین و غیره

(مأخذ: نگارندگان)

تعیین سناریوی زلزله

پیش‌بینی رویدادهای احتمالی و آثار آن‌ها، تهیه سناریو نامیده می‌شود .تهیه سناریو اغلب به‌منظور تهیه برنامه و ایجاد آمادگی در جوامع سانحه خیز، صورت می‌گیرد و به درک بهتر آینده محتمل کمک می‌کند. منظور از زلزله سناریو، تعیین بزرگی، شدت و دیگر پارامترهای زلزله‌ای است، که نرم‌افزار آن را به‌عنوان زلزله احتمالی در منطقه در نظر می‌گیرد. پارامترهای ورودی به سیستم برای تعیین سناریوی زلزله عبارت‌اند از: موقعیت مکانی وقوع زلزله، عمق زلزله، بزرگی زلزله و زمان وقوع زلزله، زیرا میزان تلفات و خسارات بسته به اینکه زلزله در شب یا روز اتفاق بیافتد و چه خساراتی به ساختمان‌های عمومی، مدرسه‌ها و اداره‌ها وارد می‌شود، کاملاً متفاوت است. البته باید توجه داشت، زمانی که یک زلزله رخ می‌دهد اثرات و نتایج آن قطعاً تفاوت‌های زیادی با نتایج سناریو خواهد داشت. سناریو تنها فرضیه‌ای است برای این‌که بدانیم که اثرات وقوع زلزله بدتر یا شبیه به چیزی است که سناریو محاسبه نموده است (امینی و همکاران، ۱۳۹۰). در این پژوهش به‌منظور ایجاد تصویری مناسب از وقوع خسارت در این منطقه و تهیه انواع خسارات ممکن براثر وقوع زلزله احتمالی در این منطقه، دو زلزله، ناشی از فعال شدن دو گسل البرز و خزر ساری در نظر گرفته شد. درنتیجه، دو مدل برای زلزله‌های سناریو در برنامه رادیوس مدنظر قرار گرفتند که مشخصات آن‌ها در جدول ٤ مشاهده می‌شود. بر اساس گزارش جغرافیای طبیعی مازندران بیشینه بزرگی زمین‌لرزه (MS) برای گسل خزر ٧/٤ و گسل شمال البرز ۷/۲ برآورد شده است (سازمان مسکن و شهرسازی استان مازندران، ۱۳۸۲).

جدول ٤- مشخصات مدل‌های سناریوی زلزله

مشخصات	مدل گسل البرز	مدل گسل خزر
موقعیت نسبت به منطقه	جنوب	جنوب
بزرگی زلزله	۷/۲	۷/٤
عمق زلزله (کیلومتر)	۱۵	۱۵
فاصله از شبکه	۳۷,۵	۳,۵

(مأخذ: نگارندگان)

لازم است زمان وقوع را نیز برای سناریوی زمین‌لرزه مشخص کنیم، چون تعداد تلفات وابسته به این است که زلزله طی شب روی‌داده یا روز، زمان زلزله ساعت ۱,۳۰ بامداد در نظر گرفته‌شده است.

٦. بحث و نتایج تخمین خسارات ناشی از زلزله در شهر ساری

یکی از مهم‌ترین مزیت‌های مدل رادیوس این است که تمامی روابط و توابع استفاده‌شده در این برنامه به‌صورت مشخص نشان داده‌شده و در دسترس است و در صورت نیاز امکان تغییر و بومی‌سازی آن‌ها بر اساس توابع موجود در کشور امکان‌پذیر است. با به‌کارگیری این رویکرد جهت تدوین سناریوی زلزله و تخمین خسارت احتمالی، می‌توان درک بهتری از زلزله و میزان ریسکی که با آن روبرو هستیم داشته باشیم، همچنین گستره و دامنه خسارت و مناطق آسیب‌پذیر در شهر مشخص خواهند شد. مدل رادیوس از ساختار ساده‌ای برخوردار است و استفاده از آن نیاز به تخصص پیچیده ندارد، بنابراین کارشناسان محلی به‌سادگی می‌توانند از آن استفاده نمایند. این نرم‌افزار برای تدوین سناریوی زلزله و تخمین خسارت فرایند گام‌به‌گام و مشخصی دارد. بدین‌صورت که هنگام وارد نمودن اطلاعات موردنیاز در هر قسمت، اطلاعات توسط نرم‌افزار به‌صورت خودکار بررسی‌شده و در صورت ناقص بودن اطلاعات هشدار داده و اجازه اجرای سناریوی زلزله در ادامه داده نمی‌شود. در برنامه رادیوس منطقه موردنظر به شبکه‌های مساوی تقسیم‌بندی شده و اطلاعات موردنیاز برای انجام برنامه وارد شبکه‌ها شده و می‌توان به‌آسانی اندازه و تعداد شبکه‌ها را تغییر داد. مثلاً به‌راحتی می‌توان اندازه شبکه‌ها را کوچک نموده و با کوچک نمودن اندازه شبکه‌ها می‌توان به نتایج دقیق‌تری در ارتباط با آسیب‌پذیری منطقه دست‌یافت. در صورت تغییر میزان جمعیت منطقه به‌سادگی می‌توان جمعیت جدید را وارد نموده و سناریو جدید را بر اساس آن تدوین نمود. پس از ورود کامل اطلاعات اجرای برنامه برای برآورد تخمین خسارت به‌سرعت و در چند دقیقه انجام‌شده که در مدت‌زمان کوتاهی می‌توان نتایج مناسبی را از تدوین سناریوهای مختلف زلزله به دست آورد. برنامه رادیوس این امکان را دارد که در صورت نداشتن اطلاعات خاصی از منطقه موردمطالعه، گزینه نداشتن اطلاعات را انتخاب نموده که در این صورت اطلاعات ورودی در برنامه بعد از تدوین سناریوی زلزله، در قسمتی تحت عنوان اطلاعات ورودی به نقشه و جداول نشان داده

می‌شوند. برنامه رادیوس ضمن داشتن مزیت‌های ذکرشده معـایبی نیـز دارد. در رویکـرد رادیـوس تعـداد و میـزان اطلاعات ورودی ثابت بوده و نمی‌توان آن‌ها را به‌دلخواه تغییر داده و اطلاعاتی اضافه یا کم نمود. میزان خساراتی که به ساختمان‌ها وارد می‌شود، شامل فروریختگی ساختمان‌ها و خسارات سنگین اسـت و خسـارات جزئـی در ایـن نرم‌افزار محاسبه نمی‌شود؛ یعنی ساختمان‌هایی که تحت عنوان ساختمان‌های خسارت‌دیده در این برنامـه مشـخص می‌شوند در حقیقت ساختمان‌هایی هستند که تخریب‌شده‌اند. نقشه‌های حاصل از برنامه رادیوس ساده بوده و طیف اطلاعات نشان داده‌شده در نقشه‌ها محدود و تنها در چهار دسته ارائه می‌شوند و درنتیجه نیاز به بـاز پـردازش ایـن اطلاعات بر اساس جدول‌های خروجی و توسط نرم‌افزارهای تکمیلی دیگر است. نتایجی کـه ایـن مـدل در مـورد شریان‌های حیاتی در ارتباط با خسارت وارده به آن‌ها ارائه می‌دهد در قالب اطلاعات کلی بوده و خسارت وارده به آن‌ها را در بخش‌های مختلف منطقه موردمطالعه ارائه نمی‌دهد. جمعیت کل منطقه موردمطالعه در این رویکرد یک‌بار در ابتدای کار وارد برنامه شده و جمعیت در منطقه بر اساس وزن شبکه‌ها و کاربری آن‌ها توزیع می‌شود که منطقی به نظر نمی‌رسد. چراکه خصوصیات اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی مناطق مختلف باهم متفاوت بـوده و شـبیه هـم نیستند و ممکن است که جمعیت در منطقه‌ای بیشتر ازآنچه برنامه اعمال نموده است باشد. اطلاعات ورودی در برنامه بعد از تدوین سناریوی زلزله، در قسمتی تحت عنوان اطلاعات ورودی به‌صورت نقشه و جدول نشان داده می‌شوند، اما برای شریان‌های حیاتی این‌گونه نیست و نه به‌صورت نقشه و نه به‌صورت جـدول نشـان داده نمی‌شـوند. اگـر اطلاعات مربوط به وضعیت خاک در دسترس نباشد کاربر می‌تواند گزینه نامشخص را انتخاب نماید که این مـورد منطقی نیست، چراکه نوع خاک در شدت زلزله مؤثر است و خطا در ورود اطلاعات مربوط به آن سبب ایجاد خطا در تخمین خسارت و تلفات می‌شود. در کل مدل رادیوس در مدت‌زمانی کوتاه برای مناطقی که اطلاعـات دقیـق و کاملی در دسترس نباشد مدل مناسبی جهت برآورد خسارات ناشی از زلزله است و از کارایی لازم برای انجام این کار برخوردار است. بر اساس سناریوهای درنظرگرفته شده در شهر ساری نتایج خسارات و تلفات ناشی از وقوع زلزله مطابق جدول ۵ است. بر اساس سناریوی گسل خزر ۱۸۹۱۰ سـاختمان تخریـب،۲۳۸۲ نفـر کشـته و ۲۲۸۹۷ نفـر مصدوم خواهند شد. مطابق سناریوی گسل البرز نیز ۳۰۸۶ ساختمان تخریب،۱۵ نفـر کشـته و ۲۱۰۲ نفـر مصـدوم خواهند شد. این تعداد کشته‌شدگان و مصدومان در سناریوی روز کمتر خواهد بود، زیرا در زمان شب تعداد افـراد ساکن در ساختمان‌های مسکونی در مقایسه با روز بیشتر است. نتایج حاصل از آسیب شریان‌های حیاتی بر اسـاس سناریوهای مدنظر در جدول ٦ نشان داده‌شده است. درصد تخریب ساختمان‌ها بر اسـاس سـناریوهای مـدنظر در شکل‌های ٤ و ۵ نشان داده‌شده است. لازم به ذکر است که میزان کشته‌شدگان و مصدومان تحت تأثیر میزان تخریب ساختمان‌ها است. به همین دلیل فقط نقشه تخریب ساختمان‌ها ذکرشده است. در شکل ٤ بیش‌ترین درصد آسـیب بارنگ قرمز مشخص‌شده است و مربوط به بافت کهن شهر است. این ممکن است به دلیل این واقعیت باشد که این

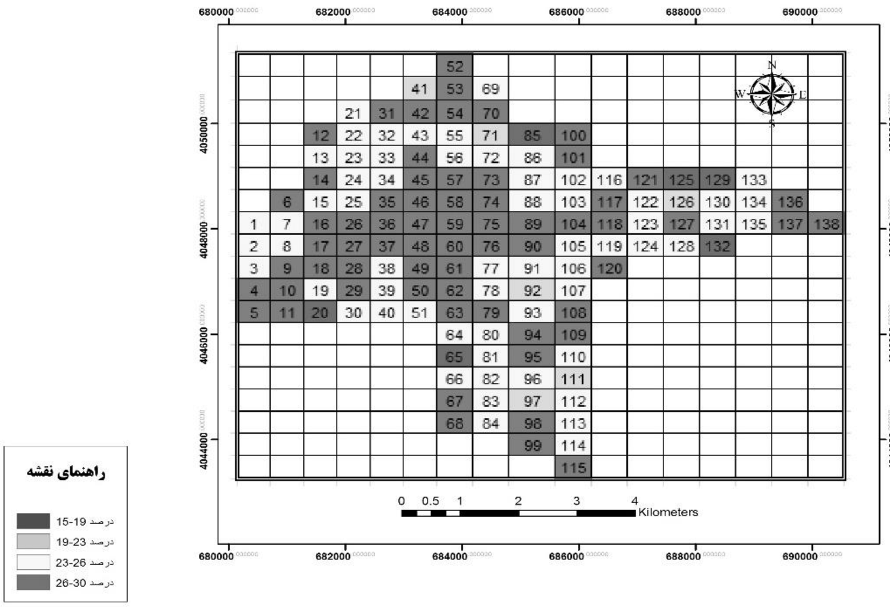
منطقه شامل تعدادی از ساختمان‌ها از نوع سازه‌های غیراستاندارد و غیر منطبق با آئین‌نامه‌های ساختمانی و ارتفاع تا سه‌طبقه هستند. بخش‌های دیگر که ممکن است از نرخ بالای خسارت مورد انتظار رنج برند، شامل تعداد زیادی از ساختمان‌های پرمخاطره و فرسوده هستند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده و مقایسه نقشه تخمین خسارت ساختمان‌های حاصل‌شده با نقشه جنس خاک و میزان تراکم ساختمان‌ها، مناطقی که تراکم ساختمانی بالا داشتند و جنس خاک از نوع نرم بوده است میزان خسارت‌ها بیشتر است. خسارت ناشی از سناریوی اول (گسل خزر) بیشتر از خسارت ناشی از سناریوی دوم (گسل البرز) است.

جدول ۵- میزان خسارات و تلفات وارده در مناطق شهر ساری

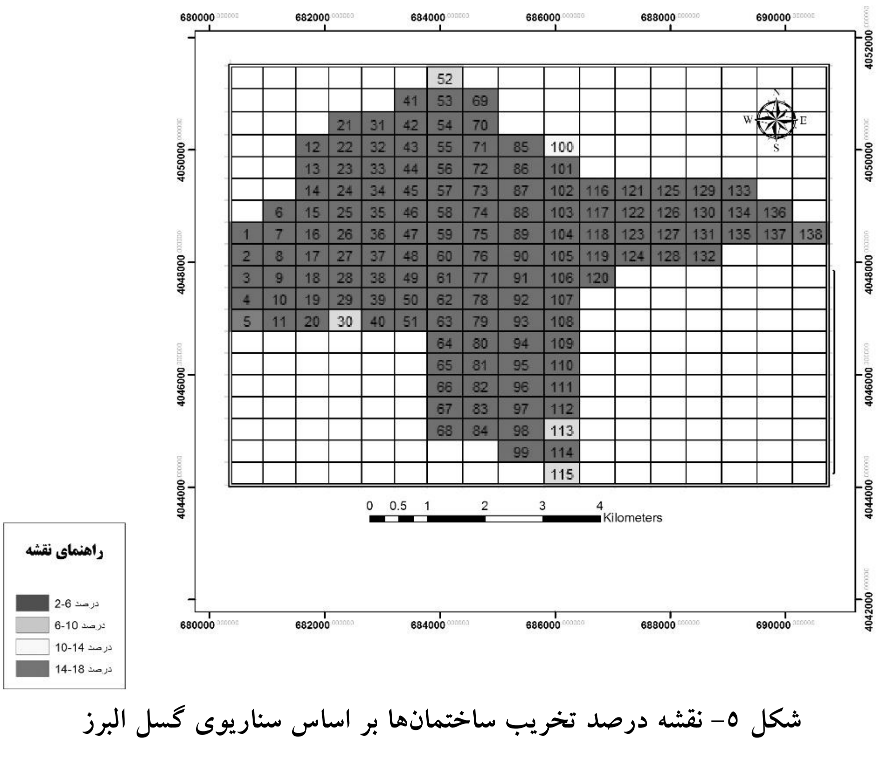
سناریو زلزله	خسارت و تلفات	منطقه یک	منطقه دو	منطقه ۳	بافت کهن
مدل گسل خزر	ساختمان	۵۹۰۴	۵۹۴۷	۵۸۴۶	۱۲۱۳
	کشته‌شدگان	۷۹۵	۶۳۴	۸۲۰	۱۳۳
	مصدومان	۸۳۰۰	۵۵۰۳	۷۹۸۸	۱۱۰۶
مدل گسل البرز	ساختمان	۹۲۵	۹۴۳	۱۰۱۶	۲۰۲
	کشته‌شدگان	۵	۰	۹	۱
	مصدومان	۷۲۰	۴۸۰	۸۰۰	۱۰۲

جدول ۶- درصد خسارات وارده به شریان‌های حیاتی منطقه در سناریوهای مختلف

سناریوی زلزله	جاده نوع ۱	جاده نوع ۲	برق ۱	برق ۲	خطوط آب و فاضلاب	جایگاه‌های بنزین
مدل گسل خزر	۸,۲	۴	۳,۳	۲۵	۳۴,۸	۲۴,۲
مدل گسل البرز	۱,۶	۱	۱,۱	۹,۱	۱۳,۴	۶,۶



شکل ٤- نقشه درصد تخریب ساختمان‌ها بر اساس سناریوی گسل خزر



شکل ٥- نقشه درصد تخریب ساختمان‌ها بر اساس سناریوی گسل البرز

۷. نتیجه‌گیری

رادیوس بهترین گزینه جهت ارزیابی ریسک منطقه برای تصمیم‌گیری‌های مرتبط با کاهش خسارت و امنیت رفاه شهری است؛ چراکه به تخصص‌های پیچیده مهندسی نیازی ندارد و در کمترین زمان به نتایج مناسبی خواهد رسید. همچنین ازلحاظ هزینه نسبت به سایر روش‌ها مقرون‌به‌صرفه تر است و نیازی به اطلاعات پیچیده و منابع زیاد ندارد. از دقت مناسبی نیز برخوردار است و برای کشورهای درحال‌توسعه و مناطقی که اطلاعات ریز و دقیقی از منطقه در دست نیست و نقشه‌های جی‌آی‌اس برای آن مناطق تهیه نشده است و درعین‌حال جزو مناطق پرخطر محسوب می‌شوند می‌تواند اطلاعات مناسبی را در اختیار مدیران قرار دهد. بر اساس سناریوهای درنظرگرفته شده در منطقه موردمطالعه نتایج خسارات و تلفات ناشی از وقوع زلزله حاکی از آن است که گسل خزر بیشترین آسیب را به همراه دارد. نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه موردی می‌تواند به تصمیم گیران در اولویت‌بندی مناطق آسیب‌پذیر برای کاهش خطر زمین‌لرزه و برنامه‌ریزی مؤثر جهت خدمات اضطراری پس از وقوع زلزله کمک کند. همچنین برای تصمیم‌گیری اولیه برای تسهیل کاهش خطر لرزه‌ای و مقاوم‌سازی، به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه مفید باشد. با توجه به نتایج حاصل از پژوهش و وجود گسل‌های زلزله زا در استان مازندران که می‌تواند شهرهای آن ازجمله شهر ساری را تحت تأثیر قرار دهد. طراحی ساختمان‌ها به شیوه‌ای که بتوانند ضربه‌های ناشی از زلزله را خنثی کنند، تدوین استانداردهای مناسب و آیین‌نامه‌های مقاوم‌سازی در برابر زلزله، آموزش مردم و استفاده از بیمه زلزله مخصوصاً در مناطقی که زلزله‌خیز هستند، ضروری به نظر می‌رسد.

کتابنامه

ابراهیمی، مجید؛ سلمانی مقدم، محمد؛ امیر احمدی، ابوالقاسم؛ نوری، مریم؛۱۳۹٤. ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر بَردَسْکن در برابر زلزله با استفاده از مدل سلسله مراتبی وارون (IHPW). *مجله مخاطرات محیط طبیعی*. سال چهارم، شماره ٦، ۱۳۷–۱۰۵.

امیدیان، پدرام؛ صفاری، حمید؛ ۱۳۹۷. ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی منظم و نامنظم با استفاده از منحنی‌های خرابی. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی سازه و ساخت*. دوره ۵، شماره ۳، ۱٤٤-۱۲٤.

امینی، جمال؛ کرمی، جلال؛ علی‌محمدی سراب، عباس؛ صفر راد، طاهر؛ ۱۳۹۰. ارزیابی مدل رادیوس در تخمین خسارات ناشی از زلزله در محیط GIS (مطالعه موردی، منطقه یک شهرداری تهران). *نشریه مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای*.سال سوم. شماره یازدهم، ٤۰–۲۳.

بهتاش، محمدرضا؛ کی نژاد، محمدعلی؛ پیربابایی، محمدتقی؛ عسگری، علی؛ ۱۳۹۲. ارزیابی و تحلیل ابعاد و مؤلفه‌های تاب‌آوری کلان‌شهر تبریز. *نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی*. دوره ۱۸. شماره ۳، ٤۲–۳۳.

خاکپور، براتعلی؛ حیاتی، سلمان؛ کاظمی بی‌نیاز، مهدی؛ ربانی ابوالفضلی، غزاله؛ ۱۳۹۲. مقایسه تطبیقی- تحلیلی میزان آسیب‌پذیری بافت‌های شهری در برابر زلزله با استفاده از مدل‌های تحلیل سلسله مراتبی و فازی (نمونه موردی: شهر لامرد). *فصلنامه آمایش محیط*. شماره ۲۲، ۳۸-۲۱.

رمضانی کیاسج محله، رؤیا؛ کریمی، سعید؛ علوی پور، فاطمه سادات؛ ۱۳۹۵. آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر زلزله با استفاده از تکنیک WLC و OWA موردشناسی: منطقه ۷ تهران. *مجله جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای*. شماره ۲۱، ۱۳۸-۱۲۵.

سازمان مسکن و شهرسازی استان مازندران؛ ۱۳۸۲. طرح توسعه و عمران (جامع) ناحیه ساری.

شکیبا، علیرضا؛ میر جعفری، سید بابک؛ علوی، سید علی؛ کامل، بتول؛ ۱۳۹۲. ارزیابی تلفات انسانی و خسارت‌های ساختمانی در سناریوهای مختلف زلزله در شرایط عدم قطعیت (منطقه مطالعه شده :منطقه 8 شهر تبریز). نشریه علمی-پژوهشی *سنجش‌ازدور و GIS ایران*. سال پنجم. شماره سوم، ٦٤-٤٩.

عزیزی، محمدمهدی؛ اکبری، رضا؛ ۱۳۸۷. ملاحظات شهرسازی در سنجش آسیب‌پذیری شهرها از زلزله (مطالعه موردی، منطقه فرحزاد تهران). *نشریه هنرهای زیبا*. شماره ٣٤، ٣٦-٢٥.

غلامی، یونس؛ حیاتی، سلمان؛ قنبری، محمد؛ اسماعیلی، آسیه؛ ١٣٩٤. پیش‌بینی فضاهای آسیب‌پذیر شهر مشهد هنگام وقوع زلزله. *پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری*. دوره ۳. شماره ۱، ٦٧-٥٥.

فرجی، امین؛ قرخلو، مهدی؛ ۱۳۸۹. زلزله و مدیریت بحران شهری (مطالعه موردی: شهر بابل). *فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیای ایران. دوره جدید*. سال هشتم. شماره ۲۵، ١٦٤-١٤٣.

فلاحی، علیرضا؛ ۱۳۸۸. *ارزیابی سوانح، خطرپذیری، آسیب‌پذیری و خسارات*. انتشارات موسسه آموزش عالی علمی کاربردی هلال ایران، چاپ اول.

کاظمی نیا، عبدالرضا؛ میمندی پاریزی، صدیقه؛ ١٣٩٦. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر کرمان در مقابل زلزله با استفاده از GIS. *نشریه علمی ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی*. دوره ۸، شماره ۳، ٤٧-٣١.

کاظمیان، غلامرضا؛ آریش، سیمین دخت؛ ١٣٩٤. تخمین میزان خسارت ناشی از زلزله در منطقه ۹ شهرداری مشهد با استفاده از مدل رادیوس در محیط GIS. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*. دوره پنجم. شماره اول، ۲۰- ۹.

ملکی، سعید؛ مودت، الیاس؛ ۱۳۹۲. ارزیابی طیف آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهرها بر اساس سناریوهای شدت مختلف با استفاده از مدل‌های TOPSIS،µd و GIS (نمونهٔ موردی شهر یزد). *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*. سال ۲، شماره ۵، ١٤٢-١٢٧.

مهدوی، داوود؛ هزاریان، الهام؛ ١٣٩٦. ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری کالبدی سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله (مطالعه موردی: روستاهای شهرستان یزد). *نشریه علمی- پژوهشی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی*. سال دوم. شماره ٤، ٤٥-٢٧.

نگارش، حسین؛ ١٣٨٤. زلزله، شهرها و گسل‌ها. *نشریه پژوهش‌های جغرافیایی*. دوره ۳۷. شماره ۵۲. ۱۱۰- ۹۳.

نیری، هادی؛ خالق پناه، کمال؛ کرمی، محمدرضا؛ احمدی، خه بات؛ ۱۳۹۵. پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهر سنندج ناشی از زلزله با استفاده از دو مدل تحلیل سلسله مراتبی و مدل تاپسیس. *نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی*. سال ۲۰. شماره ۵۷، ۲۹٤–۲۷۷.

یاریان، پیمان؛ کرمی، محمدرضا؛ ۱۳۹۸. ارزیابی و عدم قطعیت آسیب‌پذیری شهرها ناشی از زلزله با مدل FAHP(نمونه موردی: شهر سنندج). *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره ۳۱. ۲۰۳–۱۸۵.

Alam, N., Alam, M.S. and Tesfamariam, S., 2012. Buildings' seismic vulnerability assessment methods: a comparative study. *Natural hazards*, *62*(2), pp.405-424. https:// doi.org/ 10.1007/s11069-011-0082-4.

Boukri, M., Farsi, M.N., Mebarki, A., Belazougui, M., Ait-Belkacem, M., Yousfi, N., Guessoum, N., Benamar, D.A., Naili, M., Mezouar, N. and Amellal, O., 2018. Seismic vulnerability assessment at urban scale: Case of Algerian buildings. *International journal of disaster risk reduction*, *31*, pp.555-575. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.06.014.

Cao, C., Li, C., Yang, Q., Liu, Y. and Qu, T., 2018. A novel multi-objective programming model of relief distribution for sustainable disaster supply chain in large-scale natural disasters. Journal of Cleaner Production, 174, pp.1422-1435. https:// doi.org/ 10.1016 /j.jclepro.2017.11.037.

Gökçe, M.A. and Ercan, E., 2019. Multi-period vehicle routing & replenishment problem of neighbourhood disaster stations for pre-disaster humanitarian relief logistics. IFAC-PapersOnLine, 52(13), pp.2614-2619. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.601.

Jena, R., Pradhan, B. and Beydoun, G., 2020. Earthquake vulnerability assessment in Northern Sumatra province by using a multi-criteria decision-making model. *International journal of disaster risk reduction*, *46*, p.101518. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141582.

Maio, R., Ferreira, T.M., Vicente, R. and Estêvão, J., 2016. Seismic vulnerability assessment of historical urban centres: Case study of the old city centre of Faro, Portugal. *Journal of Risk Research*, *19*(5), pp.551-580. https://doi.org/10.1080/13669877.2014.988285

Mazumder, R.K. and Salman, A.M., 2019. Seismic damage assessment using RADIUS and GIS: A case study of Sylhet City, Bangladesh. *International journal of disaster risk reduction*, *34*, pp.243-254. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.11.023.

Ningthoujam, M.C. and Nanda, R.P., 2018, August. A GIS system integrated with earthquake vulnerability assessment of RC building. In *Structures* (Vol. 15, pp. 329-340). Elsevier. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2018.07.013

Papadopoulos, T., Gunasekaran, A., Dubey, R., Altay, N., Childe, S.J. and Fosso-Wamba, S., 2017. The role of Big Data in explaining disaster resilience in supply chains for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, *142*, pp.1108-1118. https:// doi.org/ 10.1016/ j.jclepro.2016.03.059.

Villacis, C.A. and Cardona, C.N., 1999. Guidelines for the implementation of earthquake risk management projects. *Geo hazards International. Palo Alto, California*.

Xu, J., An, J. and Nie, G., 2016. A quick earthquake disaster loss assessment method supported by dasymetric data for emergency response in China. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, *16*(3), pp.885-899. https://doi.org/10.5194/nhess-16-885-2016.